

# Siedlungswasserwirtschaft - Wie weiter?

W. Gujer, T.A. Larsen

Eidgenössische Anstalt für Wasserversorgung, Abwasserreinigung und Gewässerschutz  
EAWAG

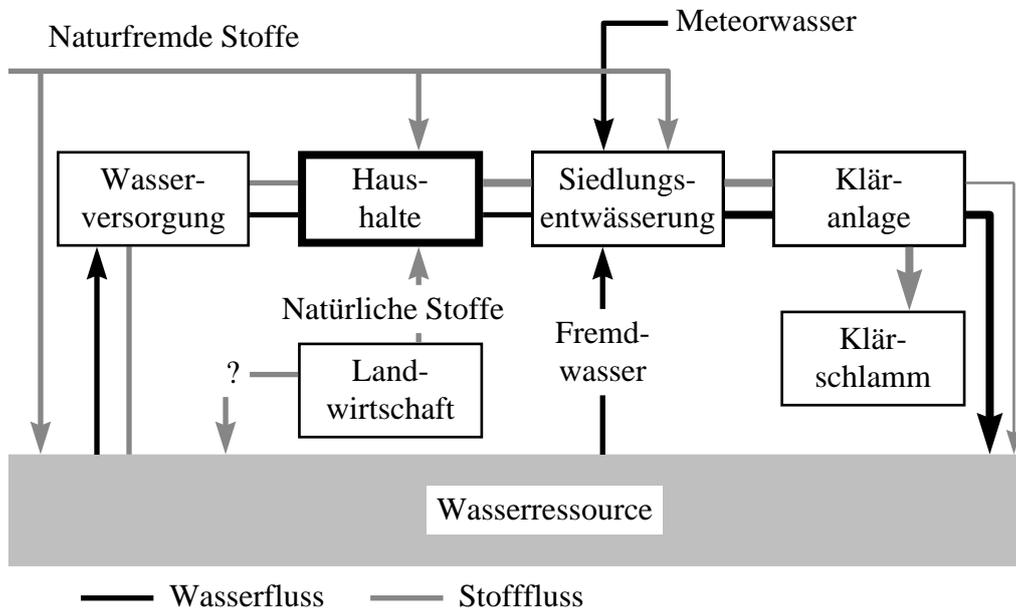
**Kurzfassung:** Die nachhaltige Entwicklung stellt neue Anforderungen an die Siedlungswasserwirtschaft: Neben Komfort und Gewässerschutz erlangt auch Ressourceneffizienz Bedeutung. Recycling von Nährstoffen, schlanke Baukonzepte, neue Partnerschaften und ein erweitertes Technologieverständnis sind Begriffe, die massgebend die Entwicklung der Siedlungswasserwirtschaft im 21. Jahrhundert mitbestimmen werden. Die Forschung der Ingenieure sollte sich wieder deutlicher von derjenigen der Naturwissenschaftler unterscheiden.

**Key words:** Siedlungswasserwirtschaft, nachhaltige Entwicklung, Ressourcen, Nährstoffe, Selbstreinigung, Least Cost Planning, komplexe Systeme, Forschung

## 1 Einleitung

Die Siedlungswasserwirtschaft durchdringt unsere urbane Gesellschaft - im täglichen Leben wird Vieles selbstverständlich: Fliessendes Wasser, WC und trockene Keller sind heute nicht mehr wegzudenken. Hinter diesem alltäglichen Komfort liegt eine mehr als 100-jährige technologische Entwicklung, die in den Städten eine weitgehend unsichtbare, aber teure Infrastruktur in Form von Wasserversorgung, Drainagen, Hausanschlüssen und Anlagen hinterlassen hat. In Abbildung 1 wird der Wassertransport der Siedlungswasserwirtschaft mit den relevanten Stofftransporten überlagert: Einerseits natürliche Stoffe aus der Landwirtschaft (organisch gebundener Kohlenstoff und Nährstoffe wie Stickstoff und Phosphor), andererseits viele 'naturfremde Stoffe', die in den urbanen Wasserkreislauf gelangen. Interessant sind auch die Stoffe, die aus der Landwirtschaft direkt in die Gewässer gelangen (Nitrat, Pestizide). Sie haben auf den ersten Blick keinen Bezug zur Siedlungswasserwirtschaft, längerfristig gefährden sie aber die Trinkwasserversorgung und unterstützen die Verschärfung der Einleitbedingungen für die Abwasserreinigung

(Denitrifikation). Abbildung 1 fokussiert auf die Haushalte; Industrie, Verkehr, Energieproduktion, etc. passen aber genauso in diesen Rahmen.



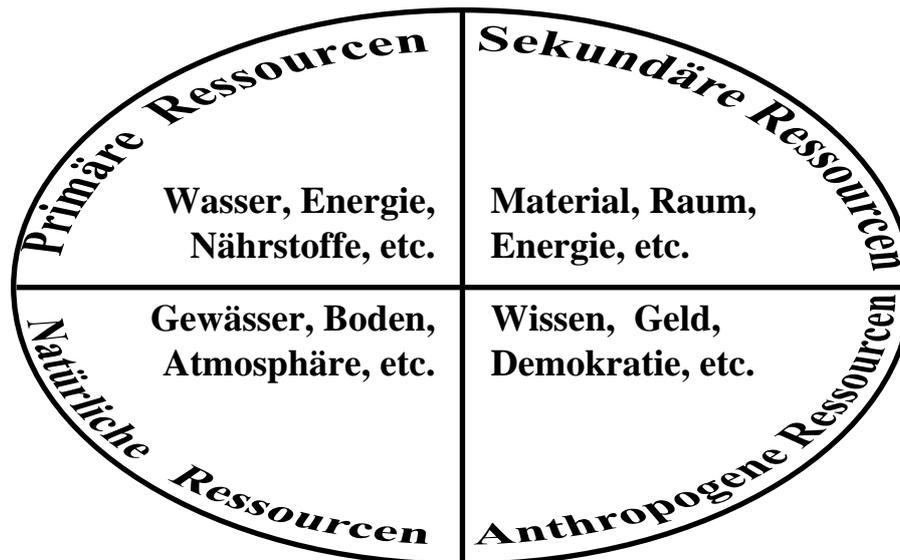
**Abbildung 1:** Wasser und Stoffflüsse in der Siedlungswasserwirtschaft. Die zwei Flüsse sind eng miteinander verbunden und können nicht isoliert betrachtet werden.

Wichtige Postulate im Hinblick auf eine nachhaltige Entwicklung sind die Ressourceneffizienz und -suffizienz. Ressourcen geben uns die Möglichkeit zu handeln: Erze, Energie, Raum, Demokratie, Geld usw. erlauben uns, unser Leben zu gestalten. Auch die Natur ist Ressource: Zerstören wir die Umwelt, zerstören wir durch komplexe und manchmal zeitlich sehr verzögerte Zusammenhänge unsere eigenen Lebensgrundlagen.

Eine nachhaltige Entwicklung heisst, die Dienstleistungen der Siedlungswasserwirtschaft in einer Form zu erbringen, die auch in Zukunft ökologisch, sozial und finanziell tragbar ist. Wir dürfen weder die Ressourcen übernutzen, noch die urbane Gesellschaft überstrapazieren oder den finanziellen Rahmen sprengen. Unsere Solidarität mit den ärmeren Teilen dieser Welt muss dazu führen, dass wir auch deren Bedürfnisse in diese Entwicklung miteinbeziehen.

## 2 Die Ressourcen der Siedlungswasserwirtschaft

Die Analyse der Ressourceneffizienz der Siedlungswasserwirtschaft führt uns zu den 4 Typen von Ressourcen, die in Abbildung 2 skizziert sind (Larsen und Gujer 1997).



**Abbildung 2:** Ressourcen in der Siedlungswasserwirtschaft. Die *primären Ressourcen* werden in der Siedlungswasserwirtschaft bewirtschaftet, *sekundäre Ressourcen* setzen wir für diese Bewirtschaftung ein. Auf die Optimierung der *natürlichen* und die *anthropogene* Ressource 'Geld' ist heute die Siedlungswasserwirtschaft ausgerichtet.

Die *primären Ressourcen* werden in der Siedlungswasserwirtschaft bewirtschaftet: das Wasser, das wir beziehen, die Schmutz- und Nährstoffe, die wir ableiten. *Sekundäre Ressourcen* setzen wir ein, um diese Bewirtschaftung zu ermöglichen: Bauten, Chemikalien, Energie. Zu den natürlichen Ressourcen gehören nicht nur die Gewässer, sondern auch der Boden (z.B. zur Nutzung und Unterbringung von Klärschlamm in der Landwirtschaft) und die Luft. Anthropogene Ressourcen umfassen nicht nur die finanziellen Mittel, sondern auch Wissen, Akzeptanz, Rechtssicherheit, etc.

Beurteilen wir eine Technologie, so genügt es nicht, nur *eine* dieser Ressourcen zu betrachten (z.B. die Kosten): Heute sind wir vielleicht zufrieden mit dem Gewässerschutz, aber haben wir in Zukunft die physikalischen und anthropogenen Ressourcen, um diesen Standard aufrecht zu erhalten? Oder,

können wir Trinkwasser oder Nährstoffe für die Landwirtschaft langfristig beschaffen? Eine nachhaltige Siedlungswasserwirtschaft wird deswegen *gleichzeitig* alle Ressourcen beachten. Schon heute werden z.T. sehr unterschiedliche Aspekte einer technischen Lösung berücksichtigt: die Effizienz für den Gewässerschutz und die Kosten. Wir bewegen uns also heute im unteren Teil von Abbildung 2. Die Frage ist, was mit den heutigen Zielen und unseren Erwartungen passiert, wenn wir beginnen auch die Ressourcen im oberen Teil von Abbildung 2 zu berücksichtigen. Wird die Siedlungswasserwirtschaft noch teurer, wenn wir die Nährstoffe in die Landwirtschaft zurückführen wollen? Müssen wir beim Gewässerschutz Einbussen in Kauf nehmen, um physikalische Ressourcen zu sparen?

Es gibt in der Industrie viele Beispiele dafür, dass eine breitere Optimierung dazu führt, dass auch frühere Ziele besser erfüllt werden. Ein klassisches Beispiel stellen die *Massnahmen an der Quelle* dar: Als Resultat von neuen Technologien mit geschlossenen Kreisläufen werden nicht nur die Gewässer geschont, sondern auch die Produktion optimiert und teure Rohstoffe gespart. Die heutige Diskussion über Effizienz führt dazu, dass nicht nur Ressourcen gespart, sondern auch die Produktionsweise optimiert wird (Telephone können heute billiger produziert werden, weil ihr Design im Hinblick auf ein einfaches Recycling auch zu neuen Ideen für eine einfache Montage geführt hat). Sicher sind Kläranlagen keine Telefone, aber trotzdem können wir uns aus einer neuen Betrachtung der Siedlungswasserwirtschaft ähnliches erhoffen. Dabei müssen wir beachten, dass neue Randbedingungen in Zukunft so stark ins Gewicht fallen können, dass heutige, finanzielle Randbedingungen an Gewicht verlieren. Wird in der Zukunft das Recycling von Phosphor zu einem Muss, so darf es auch Geld kosten: Es könnte ein Markt für den Phosphor aus der Siedlungsentwässerung entstehen.

### **3 Primäre Ressourcen**

#### **3.1 Beispiel Nährstoffe**

Sollen Nährstoffe (Stickstoff und Phosphor) auf den Kläranlagen eliminiert werden, oder sollen sie als Teil des natürlichen Kreislaufes wieder zurück in die Landwirtschaft gelangen? Die Antwort auf diese Frage kann für unser tägliches Leben Konsequenzen haben, sie hat aber auch eine globale Perspektive. Für

unsere Forschung ist diese Frage zentral: Heute entwickeln und bauen wir für die Abwasserreinigung vor allem Verfahren und Anlagen zur Nährstoffelimination, wir könnten aber auch Verfahren zum Nährstoffrecycling entwickeln.

Der grösste Teil der Nährstoffe, die für das Pflanzenwachstum in der Landwirtschaft erforderlich sind, wird aus fossilen Reserven gewonnen. Eine Ausnahme bildet der Stickstoff, der mit Einsatz von fossiler Energie (25-50 kJ pro g N) aus der Luft gewonnen wird.

Als begrenzte Ressource ist v.a. der Phosphor von Bedeutung. Es ist umstritten, wie lange die Reserven von Phosphor reichen (100-1000 Jahre, je nach Quelle und Aufwand, den wir für die Beschaffung betreiben wollen). Nicht umstritten sind die Gefahren der Schwermetallbelastung der mineralischen Dünger. Heute wird z.B. in Skandinavien nur der cadmiumärmste Phosphatdünger zugelassen. Wohin der stärker mit Schwermetallen belastete Dünger gelangt und was damit gefährdet wird, muss uns interessieren. Der hohe Preis des Phosphates führt zudem dazu, dass Phosphat nicht in denjenigen Gegenden der Welt und auf denjenigen Böden eingesetzt wird, auf denen es wirklich benötigt wird.

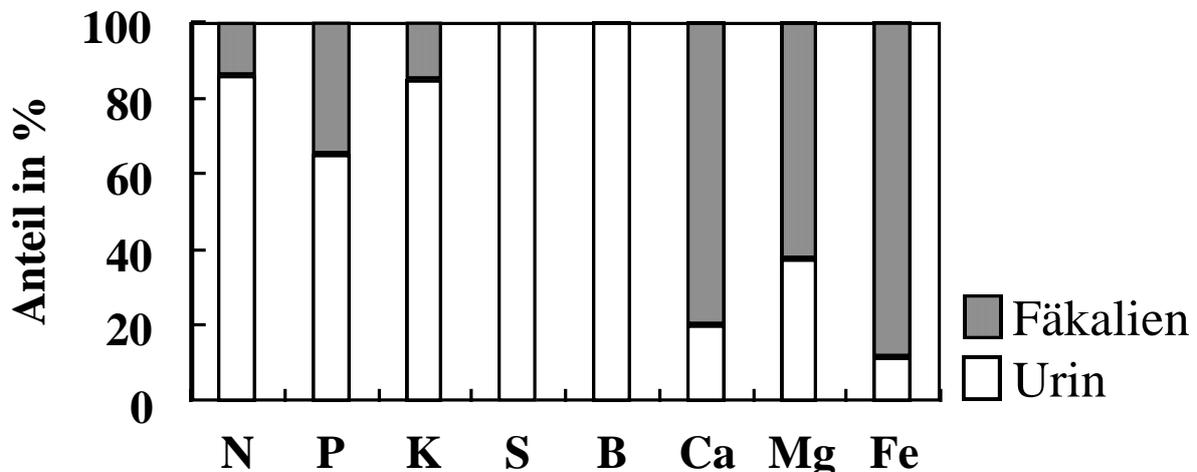
Wir können nicht auf Dauer das einfach verfügbare, fossile Phosphat in den Seen und Meeren verteilen, oder durch Eisensalzfällung in der Kläranlage in eine *nur bedingt pflanzenverfügbare Form* überführen. Dasselbe gilt für Kalium und alle anderen Nährstoffe ausser Stickstoff und Kohlenstoff, die über die Atmosphäre rezirkuliert werden. Ein nachhaltiges Wirtschaften lässt solche offene Systeme nicht zu.

Damit wird der heutige Trend in Richtung ökologischer Landwirtschaft einsichtig. Diese setzt voraus, dass kein Kunstdünger verwendet wird. Langfristig ist ohne Rückführung der Nährstoffe aus den Siedlungen ein solches Wirtschaften nur durch Importe von organisch gebundenen Nährstoffen aus konventioneller Landwirtschaft möglich. (Wieder bildet Stickstoff die Ausnahme, er kann durch biologische Fixierung gebunden werden.)

Die Nährstoffe, die in der Siedlungswasserwirtschaft anfallen, sind aus natürlichen Gründen vor allem in mineralischer Form vorhanden: Wir nehmen die Nährstoffe organisch gebunden zu uns, wir veratmen den grössten Teil der organischen Stoffe zu CO<sub>2</sub> und Wasser und scheiden danach fast sämtliche Nährstoffe in anorganischer Form wieder aus. Die Verteilung der wichtigsten

Nährstoffe zwischen Fäkalien und Urin sind aus Abbildung 3 ersichtlich. Es bedingt die Zusammenarbeit von Land- und Siedlungswasserwirtschaft, um diese anorganischen Nährstoffe sinnvoll in den Kreislauf einzugliedern (heute wird z.B. in der EU Urin als Dünger in der ökologischen Landwirtschaft nicht zugelassen).

Ein fast vollständiges Recycling der wichtigsten Nährstoffe aus den Siedlungen ist mit konventionellen Verfahren möglich, wenn der Urin aus dem kommunalen Abwasser abgetrennt wird. Grauwasser ist nährstoffarm, die Fäkalien sind nährstoffreich, zusammen sind die Nährstoffverhältnisse C:N:P annähernd ausgeglichen. Mit einfachen biologischen Verfahren, ausgerichtet auf das Zurückhalten von Feststoffen und organischen Verbindungen (BSB<sub>5</sub>), die z.B. in der Schweiz bis ca. 1975 in entsprechend kleinen Kläranlage realisiert wurden, könnten die Ammonium- und Phosphorgrenzwerte voraussichtlich ohne Nitrifikation und chemische Fällung eingehalten werden. Nitrat aus den Siedlungen wäre kein Thema mehr.



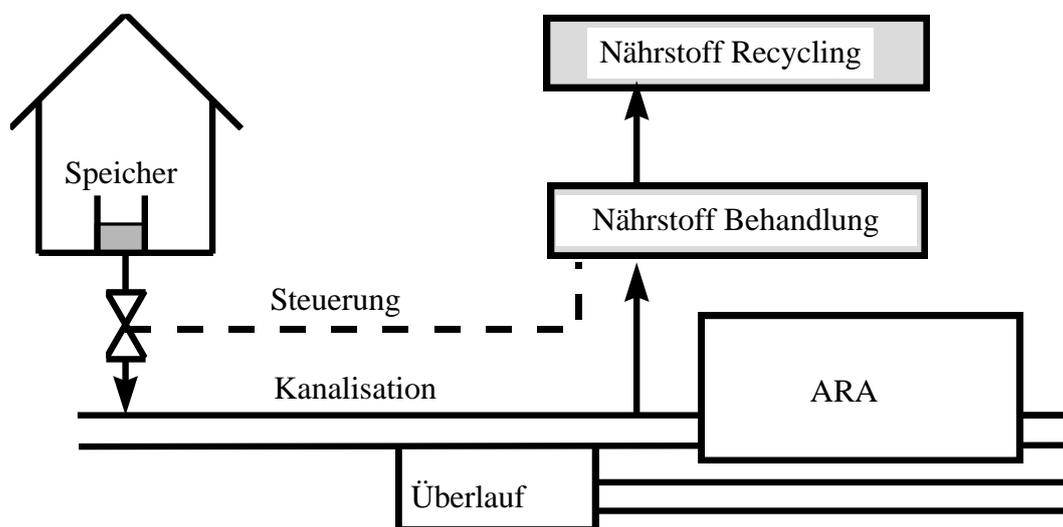
**Abbildung 4:** Nährstoffverteilung aus dem menschlichen Metabolismus

Gegenwärtig untersuchen wir eine technische Umsetzung der Abtrennung von Urin, die auf einem einfachen Prinzip der zeitlich getrennten Ableitung aufbaut (Larsen und Gujer, 1996). Diese Trennung ist möglich, weil nachts sehr wenig Abwasser im Kanalnetz fließt. In Abbildung 4 wird das technische System skizziert: Einzelne kleine, dezentrale Stapel werden durch eine einfache, zentrale Steuerung entleert, so kann der Urin konzentriert einer separaten Behandlung zugeleitet werden. Erste Simulationen und Experimente mit Salzlösungen

bestätigen, dass das 'Nachtfenster' (die Zeit mit wenig Abwasser im Kanalnetz) ausreicht, um eine konzentrierte Urinlösung auf die Kläranlage zu bringen.

Die grosse Herausforderung stellt die fehlende Stabilität der Urinlösung dar. Bei der enzymatischen Spaltung von Harnstoff wird Ammoniak frei und es resultiert ein hoher pH Wert. Das führt zu Geruchsproblemen und zum Verlust von Ammoniak. Zusätzlich könnten sich in der Kanalisation, analog zu Problemen mit  $H_2S$  und dessen Oxidation zu  $H_2SO_4$  im Scheitel der Kanalrohre Korrosionsprobleme ergeben. Weil die Ressourceneffizienz im Vordergrund stehen muss, sind die technischen Lösungsmöglichkeiten stark eingeschränkt.

Das dargestellte System nutzt die existierende Infrastruktur. Dabei wird auch eine stufenweise Abtrennung von Urin in der Kläranlage schnell Vorteile bringen: Die Belastung mit Stickstoff könnte ausgeglichen werden, das würde vorerst eine stabilere Nitrifikation und mehr Denitrifikation ohne den Ausbau der Kläranlagen ermöglichen. Mit dem Übergang zur vollständigen Urinabtrennung könnten die Kläranlagen wieder so klein werden, wie sie es vor der Einführung der Nährstoffelimination waren, mit entsprechend einfachem Betrieb und ohne teure Steuerungen. Der Energiebedarf für den Sauerstoffeintrag würde kleiner und die Biogasproduktion grösser.



**Abbildung 5:** Ein System zur separaten Bewirtschaftung von Urin. Während der Nacht, wenn wenig Abwasser in den Kanälen fliesst, kann wenig verdünnter Urin bis zur Kläranlage geleitet und in einem separaten Verfahren für die Weiternutzung aufbereitet werden (Larsen und Gujer 1996)

## 4 Sekundäre Ressourcen

### 4.1 Beispiel Energie und Baustoffe

Wieviel sekundäre Ressourcen die Siedlungswasserwirtschaft heute umsetzt ist nicht bekannt - es war nie von Interesse. In Tabelle 1 sind für einige Bereiche unsere ersten Schätzungen für die Schweiz angegeben.

Elektrische Energie	1 - 2 % (ohne Warmwasser)
Beton	5 - 10 %
Kies	10 - 20 %

**Tabelle 1:** Schätzungen des Ressourcenverbrauches der Siedlungswasserwirtschaft in der Schweiz

Ist dieser Aufwand, gemessen an seiner Leistung, gerechtfertigt? Global gesetzte Ziele sehen vor, dass der Ressourcenverbrauch in unserem Teil der Welt um ein Faktor 3 - 10 gesenkt werden soll. Der Faktor 10 ist dabei am besten belegt: In Zukunft soll global der heutige Ressourcenverbrauch halbiert und gerecht (solidarisch) auf die Weltbevölkerung verteilt werden. Aber auch mit dem bescheideneren Faktor 3 sieht man, dass die Siedlungswasserwirtschaft ins Gewicht fallen wird: Bis zu 6 % der elektrischen Energie (ohne Warmwasser, das heute ca. 6 % der Nutzenergie beansprucht) und bis zur 30 % des Betons wären erforderlich. Kies muss schon in naher Zukunft durch andere Baumaterialien ersetzt werden: Die Schweiz ist grosszügig und unvorsichtig mit ihren Lagerstätten umgegangen.

Die Energiesparmassnahmen auf Kläranlagen werden zügig vorangetrieben: Im Rahmen des Schweizerischen nationalen Programms RAVEL wurde gezeigt, dass das wirtschaftliche (!) Potential des Energiesparens auf den meisten Kläranlagen in der Grössenordnung von 60 % liegt (Müller, 1996). Energie ist im Vergleich zum Verbrauch von Baumaterialien einfach zu messen. Bei den Baumaterialien kommt noch dazu, dass es nicht nur um die Masse der eingesetzten Materialien geht, sondern um die Belastung der Umwelt bei deren Beschaffung, Verarbeitung, Nutzung und Entsorgung. Unterschiedlichste Materialien wie Zement, Stahl, Kupfer usw. müssen miteinander verglichen werden, um wirkungsvolle Verbesserungen zu finden. An vielen Institutionen,

so auch an der EAWAG, hat diese akribische Arbeit begonnen. Die Struktur der Aufgabe ist die folgende:

- Wir definieren, wofür wir die Daten sammeln; das bedingt eine klare Fragestellung.
- Wir beschaffen und strukturieren die Daten, setzen sie in Bezug zur Realität und geben sie in ein geeignetes Verwaltungssystem ein.
- Wir bewerten und analysieren die eingesetzten Ressourcen und messen sie an den Dienstleistungen, die uns die bewerteten Anlagen erbringen.
- Wir werden versuchen, aus der Analyse abzuleiten, wo wir bei gleichen oder besseren Dienstleistungen mit weniger Ressourcen und mit weniger Umweltbelastung bei deren Beschaffung und Entsorgung auskommen können. Heute sind wir aber noch nicht so weit.

Probleme stellen sich beim Datenmanagement und bei der Ausarbeitung der Bewertungskriterien. Die Bewertung verursacht weltweit nicht nur für die Siedlungswasserwirtschaft Kopfzerbrechen. Nutzen und Schäden von Umwelttechnologien zu beurteilen, zeigt die Schwierigkeiten klar auf: Das Resultat (z.B. ob Massnahmen auf Kläranlagen in der Ökobilanz positiv oder negativ ausfallen) hängt nicht überraschend davon ab, wie die verschiedenen Umweltkompartimente gewichtet werden. Auch ohne solche konkreten Aussagen gibt es aber gute Möglichkeiten, mit einer sorgfältigen Analyse des Einsatzes von Baumaterialien und Energie, Grundlagen für Optimierungsstrategien zu finden, die weder den Gewässerschutz noch die Finanzierung gefährden. Schnelle Resultate dürfen wir aber nicht erwarten.

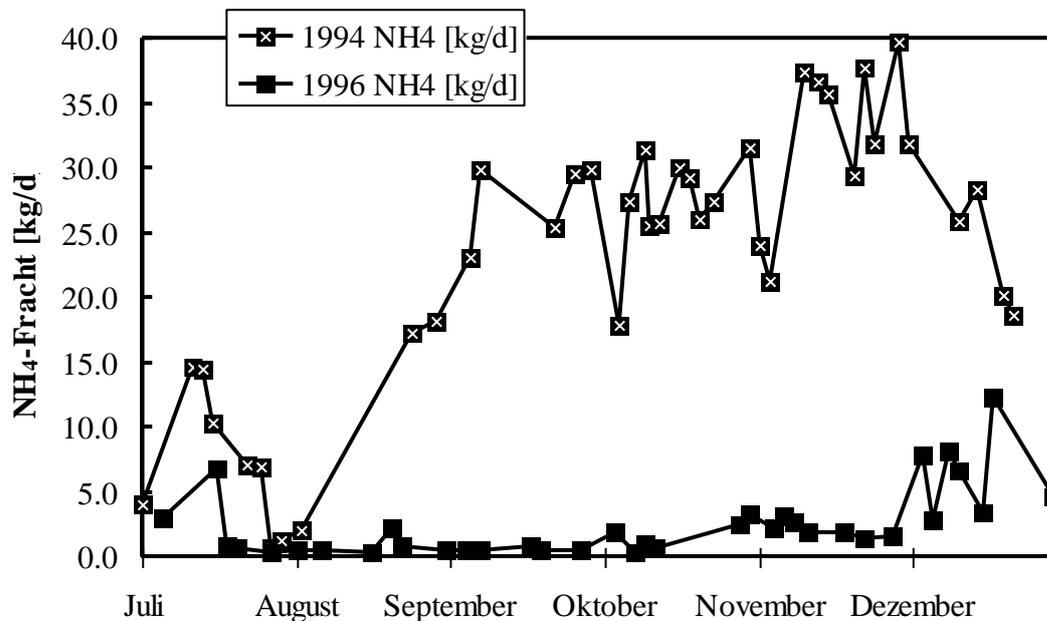
## **4.2 Beispiel Optimierung der bestehenden Anlagen**

Die Optimierung der bestehenden Anlagen ist eine Möglichkeit, mit den bestehenden Investitionen mehr Leistung zu erreichen, oder das Verhältnis zwischen Nutzen (mehr Leistung) und Kosten (Einsatz von Ressourcen) zu verbessern.

Die Anlagen, die für die Siedlungswasserwirtschaft gebaut wurden, werden häufig nicht in der Nähe ihrer optimalen Möglichkeiten betrieben. Die

obengenannte Tatsache, dass auf vielen schweizerischen Kläranlagen bis zu 60% der eingesetzten elektrischen Energie mit wirtschaftlichen Mitteln eingespart werden können, ist nur ein Indiz für das grosse Potential der möglichen Leistungssteigerungen.

Kanalbauwerke und Mischwasserspeicher beanspruchen einen grossen Teil der Baustoffe, die wir in der Siedlungsentwässerung einsetzen. Wirklich bewirtschaftet werden diese Bauten noch selten. Abwasserreinigungsanlagen haben häufig Leistungsreserven, die mit wenig Mitteln aktiviert werden können. In Abbildung 6 wird der Jahresgang der Ammoniumfracht im Ablauf einer kleinen Belebungsanlage für 1994 und 1996 verglichen. Geringfügige Änderungen im Betrieb haben zu dieser grossen Verbesserung der Leistung geführt.



**Abbildung 6:** Ganglinie der Ammoniumfracht im Ablauf einer Kläranlage: 1994 vor deren Optimierung, 1996 mit einer verbesserten Betriebsstrategie (Jancarkova 1997).

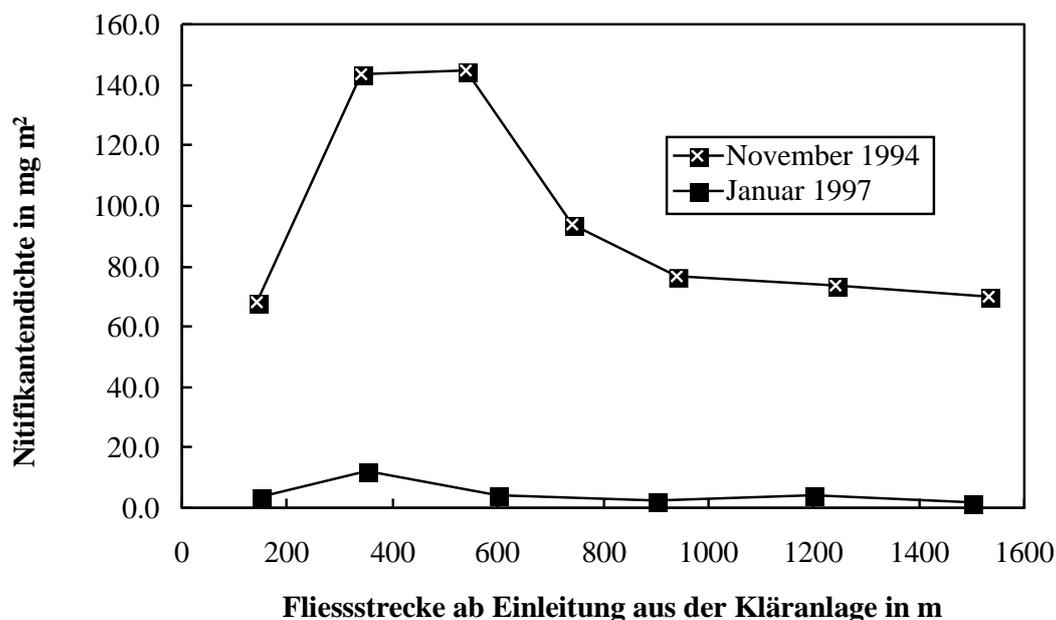
## 5 Natürliche Ressourcen

### 5.1 Beispiel Selbstreinigung

Wir treiben heute die Abwasserreinigung, insbesondere bei Trockenwetter auf die Spitze. Bei Regenwetter müssen wir aber nach wie vor Mischwasser fast ungereinigt entlasten. Was geschieht nun eigentlich mit den Stoffen, die wir bei

Trockenwetter in den Kläranlagen zurückhalten und bei Regenwetter in die Gewässer einleiten?

In den Fliessgewässern wird in Wechselwirkung mit den Schmutzstoffen, die in der fliessenden Welle enthalten sind, eine Bakterienpopulation aufgebaut, die die Selbstreinigungsleistung bestimmt. Wird ein Gewässer nicht dauernd mit Substraten (Schmutzstoffen) versorgt, so kann es bei Mischwasserentlastungen kaum eine grosse Selbstreinigungsleistung erbringen. In Abbildung 7 wird die gemessene Menge der Nitrifikanten im Fliessgewässer unterhalb der Kläranlage, deren Leistung in Abbildung 6 charakterisiert ist, dargestellt. Die Kläranlage hat 1994 dauernd eine Restfracht von Ammonium ins Gewässer eingeleitet, die Nitrifikanten konnten sich im Fluss entwickeln. 1996 genügte die Belastung des Fliessgewässers nicht, um eine Nitrifikantenpopulation aufzubauen.



**Abbildung 7:** Masse der nitrifizierenden Organismen im Sediment des Fliessgewässers, unterhalb der Einleitung einer Kläranlage. Die Belastung des Gewässers ist in Abbildung 6 charakterisiert (Jancarkova 1997).

Bei Trockenwetter kann in beiden Situationen nach 1500 m Fließstrecke kaum mehr eine Restfracht von Ammonium gefunden werden. Während Regen wurden unterhalb der Kläranlage on line ca. 10 mal pro Jahr Ammoniumkonzentrationen bis über 3 g N m<sup>-3</sup> gemessen. (Zusammen mit pH und Temperatur konnten daraus Ammoniak Konzentrationen berechnet werden, die für Salmoniden deutlich akut toxisch sind). Diese on line Messungen während Mischwassereinleitungen zeigen einen deutlichen Unterschied in der Selbstreinigungsleistung des Flusses:

Während 1994 ein grosser Teil der eingeleiteten Ammonium Fracht in der beobachteten Fliessstrecke abgebaut wurde, konnte 1996 die eingeleitete Fracht nach 1500 m Fliessstrecke immer noch fast vollumfänglich identifiziert werden.

Was hat nun die Verbesserung der Reinigungsleistung der Kläranlage für die Umwelt gebracht? Die Grenzwerte für Ammonium wurden 1994 im Gewässer bei Trockenwetter kaum überschritten. Hat hier die Optimierung der Abwasserreinigung die richtigen Ziele verfolgt? War weniger Abwasserreinigung und eine Nutzung der Selbstreinigung bei Mischwasserentlastungen nicht deutlich besser? Diese Fragen stellen das Ziel der Abwasserreinigung zur Diskussion. Sie stellen nicht in Frage, dass mit bestehenden Investitionen ein Optimum erreicht werden soll.

## 5.2 Beispiel Massnahmen an der Quelle

In der Schweiz wurde in den letzten 20 Jahren viel in den Gewässerschutz investiert. Tabelle 2 zeigt auf, dass sich dabei der Zeit- und Raumhorizont sowie die Komplexität der Probleme immer wieder vergrössert haben.

Betrachtete Stoffe	Dominanter Lösungsansatz	Zeit	Art der Auswirkung	Ausdehnung der Auswirkung
Grobstoffe	Siebe	1900	Ästhetik	1km
Suspendierte Stoffe	Sedimentation	1920	Verschlammung	2 km
BSB <sub>5</sub>	Biolog. Reinigung	1950	Bakterienwachstum	5 km
Ammonium	Nitrifikation	1975	Fischsterben, $\Delta O_2$	10 km
Phosphat	Fällung	1965	Eutrophierung	50 km
Nitrat	Denitrifikation	1995	Nordsee	1000 km
Phosphat	Biolog. Elimination	2000	Ressourcen	Global
Naturfremde Stoffe	Ursachenbekämpfung	2000	Schleichend	Regional/Global

**Tabelle 2:** Entwicklung der Probleme im Gewässerschutz. Der Trend geht in Richtung grössere Ausdehnung der Probleme und komplexere Lösungsansätze.

Heute interessieren uns neben der Ressourceneffizienz diffuse Verunreinigungen mit naturfremden Stoffen. So ist z.B. Kupfer als problematischer Baustoff erkannt worden (NZZ, 1997). Studien an der EAWAG (Boller, 1995) identifizieren neben Kupfer z.B. auch Zink als ähnlich problematisch. Im Gegensatz zu den früheren 'grossen' Themen des Gewässerschutzes haben wir es heute mit einer Unzahl von

Stoffen und Quellen zu tun. Dabei ist es wesentlich, Lösungen nicht für Einzelstoffe zu suchen, sondern das Problem ganzheitlich anzugehen. Kupfer kann man in vielen Fällen durch Zink ersetzen, der dann aber wiederum durch den nächsten Stoff ersetzt werden muss, wenn auch dessen Gefährlichkeit erkannt wird. Die Anzahl der Metalle ist begrenzt, die Anzahl der organischen Stoffe aber nicht: Heute wird z.B. die Gefährdung unserer Fruchtbarkeit durch östrogenanaloge Stoffe diskutiert, die auch im Abwasser in die Umwelt gelangen. Welche Effekte und Stoffe werden es morgen sein? Unser Verständnis für Ökotoxikologie steht erst in den Kinderschuhen. Diese Disziplin wird noch viele bedenkliche Stoffe aufdecken.

Eine Analyse der diffusen Quellen im Bereich der Liegenschaften zeigt, dass einerseits der Oberflächenschutz von Bedeutung ist: Wasserleitungen, Dächer, Fassaden, Dachrinnen. Die entsprechenden Schutzmaterialien haben für die Umwelt die unangenehme Eigenschaft, dass sie beständig sind. Andererseits sind es unzählige Chemikalien im Haushaltsbereich: Es besteht eine Nachfrage (z.B. wollen wir unsere modernen Textilien schonend, aber effizient waschen können), aber das Angebot kann nur von Fachkreisen kompetent beurteilt werden. Die Verbraucher haben Mühe, Waschmittel nach ökologischen Kriterien auszuwählen. Schon am einfachen Beispiel der Haushalte wird deutlich, dass die bekannten 'end of pipe' - Strategien kaum mehr angebracht sind. Technische Anlagen wie die biologische Abwasserreinigung haben einen wichtigen Teil der Probleme gelöst, für die anstehenden Probleme stellen sie aber kaum mehr eine Lösung dar.

In Zukunft wird es darum gehen, die Eigenschaften der Stoffe, die in unsere Systeme gelangen (müssen?), so zu wählen, dass die bestehenden Anlagen und Technologien mit diesen Stoffen in geeigneter Weise umgehen können. Solche Stoffe umfassen nicht nur diejenigen, die direkt ins Wasser gelangen, sondern immer mehr auch Baustoffe (z.B. Zuschlagstoffe, Weichmacher, ...), Stoffe aus dem Bereich des Korrosionsschutzes und Anstriche von entwässerten Oberflächen.

Wir Siedlungswasserwirtschaftler sind hier gefordert. Im Rahmen von neuen Partnerschaften gilt es, unser Verständnis für die Siedlungswasserwirtschaft mit den Möglichkeiten der produzierenden Wirtschaft zusammenzuführen und neue Lösungen zu erarbeiten.

## 6 Anthropogene Ressourcen

### 6.1 Beispiel Least Cost Planning

Die steigenden Wasser- und Abwassergebühren und die Werterhaltung der teuren, aber unsichtbaren Infrastrukturen im Untergrund gewinnen heute an Bedeutung.

Beispiele aus der Energiewirtschaft und der Abfallentsorgung illustrieren Möglichkeiten, aber auch Risiken für die Siedlungswasserwirtschaft. In der Energiewirtschaft wird Least Cost Planning angewendet: Statt Elektrizität zu verkaufen wird die Endleistung (z.B. Licht) zur Verfügung gestellt. Es entsteht ein Anreiz, z.B. einen teuren Infrastrukturausbau durch die Abgabe von Sparlampen zu vermeiden, eine Strategie, die für die Verbraucher im Endeffekt billiger wird. Im Abfallbereich haben Sackgebühren (man bezahlt mit Gebührenmarken direkt für die Entsorgung jedes Abfallsackes) zu einer Verminderung der Abfallmengen geführt. Die resultierende schlechte Auslastung der langlebigen Verbrennungsanlagen bedingt nun höhere Gebühren. Offensichtlich sind die Zeitkonstanten der Planung der Anlagen und des Verhaltens der 'Konsumenten' nicht mehr kongruent.

Wie kann die Siedlungswasserwirtschaft von diesen Erfahrungen profitieren? Analog zur Energiewirtschaft können z.B. an Stelle von teuren, neuen Wasseraufbereitungsanlagen Sparmassnahmen gefördert werden. Heute gibt es wenig Anreize, ein Mengenproblem in dieser Art anzugehen. Ähnlich sieht es im Bereich der Kläranlagen aus. Es ist politisch einfacher, Baukosten zu rechtfertigen, als umfangreiche Versuche, mit chemischen Analysen und Optimierungsexperimenten zu finanzieren, um aus einer existierenden Anlage das Beste herauszuholen. Entsprechend ist von den zuständigen Ingenieuren die Expertise im Bauen gepflegt worden, während heute fast keine Erfahrung in der Pilotierung neuer Lösungen besteht. Ohne Markt wird sich keine Expertise entwickeln, ohne Expertise wird sich kein Markt ergeben: Ein Teufelskreis, aus dem nur gezielte Bemühungen herausführen.

In der Siedlungswasserwirtschaft sind heute langfristige Überlegungen gefragt. Die Infrastruktur, die im Boden liegt, hat eine Lebenserwartung von bis zu 100 Jahren. Weil diese Systeme historisch gewachsen sind, gibt es eine Altersverteilung der Elemente im Netz - der Erhalt ihrer Funktion verlangt einen dauernden Unterhalt und Erneuerung. In vielen europäischen Ländern, so auch in der Schweiz, ist diese Unterhaltspflicht vernachlässigt worden (vergleiche dazu die Jubiläumsaktion des Verbandes Schweizerischer Abwasser und Gewässerschutzfachleute, VSA, im Jahre 1994 mit dem Thema 'Werterhaltung'). Es ist zu befürchten, dass in Zukunft, wenn die Wasserversorgung und -entsorgung selbsttragend, aber mit politisch festgesetzten Gebühren gestaltet werden soll, das Budget nur durch die Vernachlässigung solcher Unterhaltsaufgaben ausgeglichen werden kann. Hilft hier die Privatisierung oder der Leistungsauftrag im New Public Management?

## **6.2 Verständnis für Zusammenhänge**

Historisch waren Bauingenieure sehr erfolgreich in der Planung, im Aufbau und häufig auch im Betrieb der Infrastrukturen in der Siedlungswasserwirtschaft. Über lange Zeit wurde ein effizientes System errichtet, das auf weitgehend stabilen Grundlagen beruht (Abbildung 8):

- Gesetze wurden nur langsam verändert. Verlangt wurde was technisch machbar ist. Meist haben sich die Ingenieure selbst die Zielvorgaben definiert.
- Natürliche Ressourcen wurden als nicht begrenzend empfunden.
- Die öffentliche Meinung war stabil, über Jahrzehnte hat die Siedlungswasserwirtschaft erlaubt, ein zunehmend hygienischeres und komfortableres Leben zu führen. Diese Dienstleistungen wurden als echte Leistung der Ingenieure empfunden.
- Die Industrie und die Wirtschaft allgemein hat sich kaum um die Siedlungswasserwirtschaft gekümmert. Ein grosser Teil der Kosten wurde durch Steuergelder aufgebracht. Wasser und Entwässerung war so billig, dass von aussen keine Forderungen an die Siedlungswasserwirtschaft heran getragen wurden.

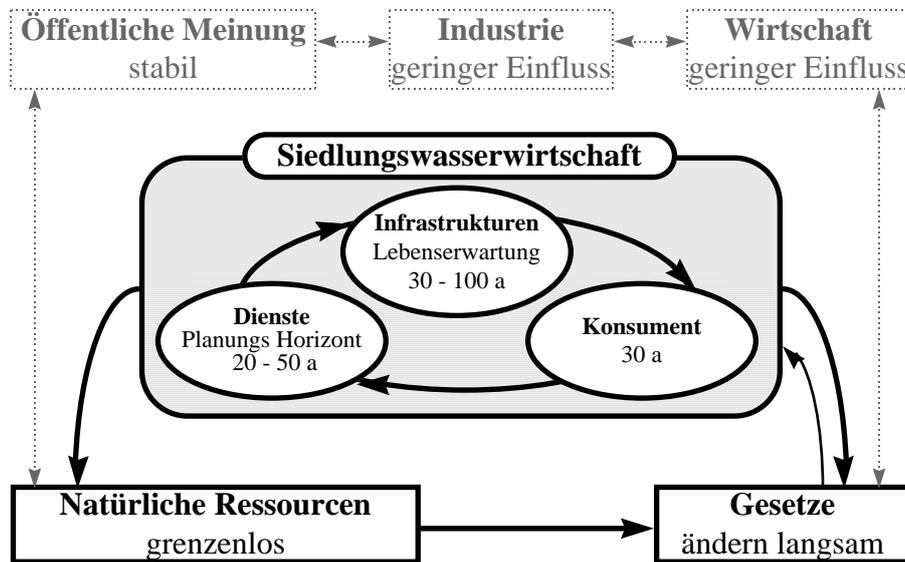
- Innerhalb der Siedlungswasserwirtschaft kamen lange Zeitkonstanten zur Anwendung: Planungshorizont, Lebenserwartung der Anlagen und Generationszeiten der Konsumenten waren im Einklang.

Unter den oben geschilderten Randbedingungen konnten die Ingenieure ein zunehmend umfassenderes und wirkungsvolleres, aber auch immer teurer werdendes System aufbauen. Neue Betrachtungen beschränkten sich auf neue Technologien. Sie brachten aber kaum neue umfassende Konzepte, mit denen die sich ändernden Bedürfnisse der Bevölkerung befriedigt werden können. Insgesamt eine eher statische Betrachtung der Siedlungswasserwirtschaft. Wir bezeichnen das Ganze als *Gleichgewichtssystem*.

Heute ergibt sich ein grundsätzlich neues Bild (Abbildung 9):

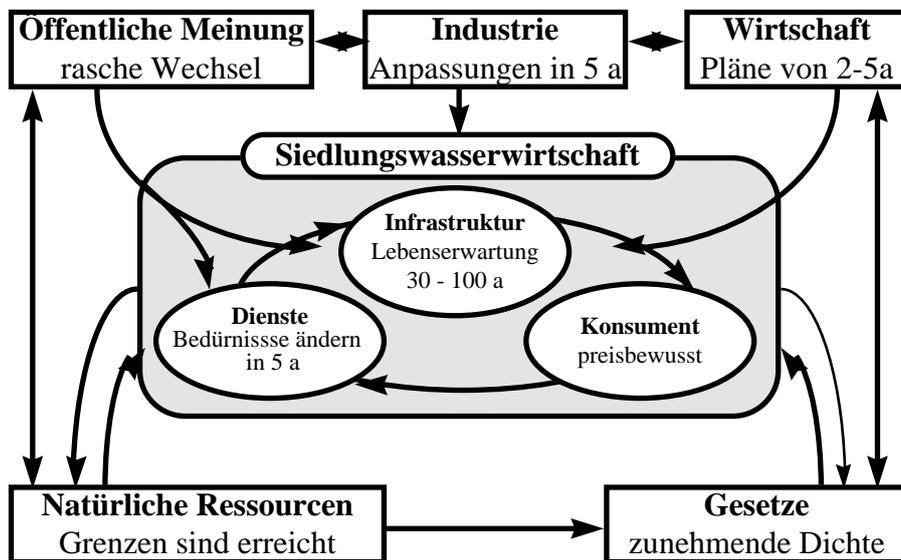
- Wir stoßen zunehmend an die Grenzen der natürlichen Ressourcen.
- Gesetze werden heute nicht aus der Sicht des technisch Machbaren sondern zunehmend aus der Sicht des Wünschbaren heraus formuliert. Ingenieure sind an diesem Prozess nur noch marginal beteiligt.
- Die öffentliche Meinung ist polarisiert und raschen Wechseln unterworfen. Neue Strömungen verlangen nach neuen Konzepten, für deren Realisierung weder Geld noch Zeit verfügbar sind.
- Die Industrie beginnt sich für die Siedlungswasserwirtschaft zu interessieren, insbesondere weil die Preise für Wasser und Entwässerung stark ansteigen und zu einem Kostenfaktor werden. Die Tatsache, dass keine Steuergelder mehr in die Siedlungswasserwirtschaft fließen, unterstützt diesen Trend zusätzlich.
- Die Wirtschaft beginnt sich für die Siedlungswasserwirtschaft zu interessieren. Privatisierungen zeigen auf, dass hier Geld verdient werden kann.

**Siedlungswasserwirtschaft 'gestern': Gleichgewichtssystem**



**Abbildung 8:** Die Siedlungswasserwirtschaft von gestern ist ein Gleichgewichtssystem: Konsumenten, erwartete Dienstleistungen und Infrastrukturen konnten als langfristig gleichbleibend betrachtet werden, Einwirkungen von aussen hatten nur geringe Bedeutung.

**Siedlungswasserwirtschaft 'morgen': Komplexes adaptives System**



**Abbildung 9:** Die Siedlungswasserwirtschaft von morgen muss als komplexes, adaptives System analysiert werden. Die Zeitkonstanten werden kürzer, die Interaktionen, Erwartungen, und Rückkoppelungen werden vielfältiger.

- Öffentlichkeit, Wirtschaft, Gesetzgeber, Randbedingungen (Ressourcen) usw. wirken zunehmend auf die Siedlungswasserwirtschaft ein und nehmen Einfluss.
- Der Konsument ist preisbewusst geworden, er denkt nicht mehr in Generationen, sondern nur noch kurzfristig. Die Dienstleistungen müssen laufend neuen Bedürfnissen angepasst werden. Einzig die Lebenserwartung der verfügbaren Infrastrukturen ist unverändert hoch geblieben - ein starres System steht rasch wechselnden Anforderungen gegenüber.
- Der verantwortliche Ingenieur hat viel von seinem Glanz verloren. Technologie wird nicht mehr positiv erlebt, sondern als selbstverständlich angenommen und zunehmend kritisiert.

Wir bezeichnen dieses zweite System als *komplexes, adaptives System*. Komplex ist das System, weil unterschiedlichste Akteure darauf einwirken, ohne dass die Institutionen, die für die Entwicklung des Systems verantwortlich sind, wissen was diese Akteure wirklich beabsichtigen. Adaptiv ist das System, weil es als Ganzes erforderlich ist (d.h. im Bestand langfristig gewährleistet werden muss), sich entwickelt (häufig zum Positiven) und die Akteure vom System Siedlungswasserwirtschaft genauso beeinflusst werden, wie sie selbst auf das System Einfluss nehmen.

Heute versuchen wir Modelle zu erarbeiten, die uns erlauben, das Verhalten von adaptiven, komplexen Systemen zu analysieren und deren Eigenschaften in ihrer weiteren Entwicklung zu berücksichtigen. Wir möchten damit Fragen nachgehen wie z.B. welche Art von Flexibilität müssen wir zur Verfügung stellen, damit wir auch zukünftigen, noch nicht bekannten Bedürfnissen gewachsen sein können?

### **6.3 Neue Partnerschaften**

Der heisse Juni 1976 hat, nach einer langen Trockenperiode, in der Schweiz zu einem extrem hohen Trinkwasserverbrauch geführt. Diese Extremsituation ist noch heute Rechtfertigung für den Ausbau von Wasserproduktionsanlagen. Die Grenzkosten für das Bereitstellen von Trinkwasser unter solchen Extremsituationen sind ein Vielfaches des normalen Wasserpreises und trotzdem finden Technokraten Argumente für den Bau solcher Anlagen.

In Gesprächen mit Konsumenten wird deutlich, dass bei geeigneten Anreizen (Tarifstrukturen) Lösungen gefunden werden können, die ohne Erweiterung der Produktionsanlagen den Bedürfnissen von Verbrauchern und Lieferanten gerecht werden. Wir Ingenieure müssen lernen, nicht nur nach technischen Lösungen zu suchen, sondern auch das Umfeld mit in die Lösung einzubeziehen. Das gesellschaftliche Aushandeln von Lösungen ist als Technologie genau so wertvoll wie Alternativen, die zu harten Bauwerken führen. Der neue Ingenieur hat neben seinem technisch - naturwissenschaftlichen Fachwissen auch die Fähigkeit zur Kommunikation mit der Gesellschaft und erlebt sich als deren Partner.

Kupfer ist ein idealer Baustoff für Spengler. In der Siedlungsentwässerung nehmen die Bedenken, diesen Baustoff einzusetzen, schnell zu. Nur wenn wir partnerschaftlich mit den Spenglern nach neuen Lösungen suchen, die sowohl ihren Fähigkeiten, Bedürfnissen und Ansprüchen gerecht werden, als auch unsere Bedenken berücksichtigen, werden wir erfolgreich den Kupfergehalt des Klärschlammes und der Regenwasserinfiltrationsanlagen in Griff bekommen.

## 6.4 Forschung

Die Forschung in der Siedlungswasserwirtschaft hat im Laufe der Jahre zunehmend den Charakter der Forschung in den naturwissenschaftlichen Disziplinen angenommen. Z.B. unterscheidet sich unser Zugang zur biologischen Phosphorelimination kaum noch von anspruchsvollen, biotechnologischen Entwicklungen.

Wissenschaftlichkeit misst sich auch bei Ingenieuren an immer aufwendigeren Experimenten und immer detaillierteren Erkenntnissen. Dass darunter unser Blick fürs Ganze leidet und unser Interesse von den wirklichen Problemen abgelenkt wird, ist leider eine Tatsache.

Wir haben uns entschieden, vermehrt den Fokus von neuen Forschungsprojekten auf ganzheitliche Betrachtung zu lenken:

- Der sorgfältige *Umgang mit Nährstoffen* soll uns helfen die Siedlungswasserwirtschaft mit der Landwirtschaft zu vernetzen.

- Die *Analyse des Ressourcenverbrauches* in der Siedlungswasserwirtschaft soll uns den Überblick verschaffen und aufzeigen, wo Ansatzpunkte für bessere Effizienz gegeben sind.
- Die Methoden des *Least Cost Planning* können ohne umfassende Betrachtungen und den Einbezug der Konsumenten nicht erfolgreich sein.
- Das Modellieren der Siedlungswasserwirtschaft als *komplexes, adaptives System* soll uns helfen, die Rolle der unterschiedlichen Akteure besser zu verstehen und damit anpassungsfähigere Systeme zu erarbeiten
- Bemühungen *zur Zusammenarbeit mit den sozialwissenschaftlichen Disziplinen* sollen unsere Sicht auf die Ziele unserer Arbeit schärfen und uns neue Wege zur effizienten Umsetzung unserer Arbeit aufzeigen.

## 7 Schlussfolgerungen

Wie soll es nun weitergehen in der Siedlungswasserwirtschaft?

Sicher werden wir die *traditionellen Arbeitsgebiete* weiterentwickeln und perfektionieren. Dabei werden die *primären Ressourcen* an Bedeutung gewinnen. Durch das Schliessen der Kreisläufe für Nährstoffe werden wir zunehmend mit der Landwirtschaft vernetzt. Die Anforderungen an z.B. die Trinkwasserqualität oder das gereinigte Abwasser sollten wir in den hochindustrialisierten Ländern nicht mehr steigern, weil neue Technologien verfügbar werden, sondern gezielt nur dort wo identifizierte Probleme gelöst werden müssen. Dabei sollten wir uns von der *Ökoeffizienz* unserer technischen Lösungen überzeugen und vermehrt die *Prozesse in den natürlichen Systemen* mit in unsere Überlegungen einbeziehen - ohne allerdings diese Systeme zu überlasten.

Damit das Zusammenspiel von technischen und natürlichen Systemen möglich wird, werden wir im Rahmen von *neuen Partnerschaften* vermehrt durch *Massnahmen an der Quelle* dafür sorgen, dass nur noch Stoffe in diese Systeme gelangen, mit denen diese auch schadlos umgehen können.

Neben den baulichen, harten technischen Massnahmen kommen zunehmend *weiche betriebliche und ressourcenschonende Technologien* zur Anwendung: Betriebsoptimierungen, Least Cost Planning, Substitutionen, etc.

Zukünftige Ingenieure müssen sich vermehrt als einer unter vielen beteiligten Akteuren erfahren und lernen beweglich auf neue Entwicklungen zu reagieren. Das bedingt neben einem soliden, technischen Know How auch ein grosses Verständnis für *politische und gesellschaftliche Prozesse*.

Es gilt Konzepte zu finden, die in Zukunft erlauben die Systeme der Siedlungswasserwirtschaft flexibler zu gestalten und Infrastrukturen zur Verfügung zu stellen, die mit *kürzeren Zeitkonstanten* auf neue Anforderungen reagieren können. Auch die Siedlungswasserwirtschaft muss z.T. *dematerialisiert* werden. Eine Aufgabe, die wir nur im Verbund zwischen Ökonomie, Ökologie, Technologie und Gesellschaft angehen können.

Die Forschung in der Siedlungswasserwirtschaft soll vermehrt ganzheitlich und systemorientiert betrieben werden. Die *sozialwissenschaftlichen Disziplinen* können uns in diesem Trend unterstützen.

## 8 Literatur

- Boller, M. (1995) Die Rolle der Siedlungsentwässerung bei der Schadstoffanreicherung in Böden. EAWAG news, 38D, 17-21.
- Jancarkova, I. (1997) Vorläufige Resultate im Rahmen ihrer Dissertation.
- Larsen, T.A. und Gujer, W. (1997) The Concept of Sustainable Urban Water Management. Akzeptiert für das Wat. Sci. Tech. Sondernummer 'Sustainable Sanitation and River Basin Management'.
- Larsen, T.A. und Gujer, W. (1996) Separate Management of Anthropogenic Nutrient Solutions (Human Urine). Wat. Sci. Tech., 34, 87-94.
- Müller, E.A. (1996) Mit Energiesparen die Betriebskosten der ARA um 10 % senken. GWA, 10, pp. 800-806.
- NZZ, Neue Zürcher Zeitung, 29. Jan. 1997: Forderung nach Verzicht auf Kupfer als Baustoff.

W. Gujer und T.A. Larsen

EAWAG  
CH 8600 Dübendorf  
und  
Institut für Hydromechanik und Wasserwirtschaft, IHW  
ETH -Hönggerberg  
CH 8093 Zürich

# **Kraftwerk Freudenau**

## **Energie für unser Leben**

